

位渐进逼近量化的 EZW 改进算法

陈 冬¹, 张田文², 李 东²

(1. 哈尔滨工业大学 生物医学工程研究中心, 哈尔滨 150001, message_cd@hit.edu.cn;

2. 哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001)

摘 要: 为了提高 EZW 算法的编码效率, 采用区间逐次缩减逼近量化的辅扫描来简化 EZW 编码, 进而结合重要系数二进制位的特点提出了位渐进逼近量化的 EZW 改进算法. 位渐进逼近量化的 EZW 改进算法舍弃了传统 EZW 编码中繁琐的量化编码器构造过程, 采用直接输出辅扫描表中数据二进制位的方案来得到辅扫描编码输出, 简化了辅扫描的量化编码过程. 实验结果表明, 位渐进逼近量化的 EZW 改进算法能使编码时间减少 20% 左右, 从而证实了本文改进算法的有效性.

关键词: 图像编码; 区间逼近; 位渐进逼近; 量化; 辅扫描

中图分类号: TP751.1

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)05-0779-05

Improved EZW algorithm of bit successive approximation quantization

CHEN Dong¹, ZHANG Tian-wen², LI Dong²

(1. BIO-X Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, message_cd@hit.edu.cn;

2. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: To improve the coding efficiency of EZW algorithm, the interval-successive-reduction approximation quantization is adopted to simplify the coding of subordinate pass, and then the improved EZW algorithm of bit successive approximation quantization for subordinate pass is presented by combining the feature of binary-bit of the significant coefficient and the interval-successive-reduction approximation quantization. This improved approach can output the binary-bit of the data in subordinate pass list directly, which discards the fussy constructing for quantizer and simplifies the coding process. Experimental results show that the improved EZW algorithm can reduce the coding time about 20%, which proves its effectiveness.

Key words: image coding; interval approximation; bit successive approximation; quantization; subordinate pass

离散小波变换^[1-4]被 JPEG2000 所采用, 成为其静态图像压缩的核心方法^[5-6]. 图像经小波多层分解可以构造出高效的图像压缩算法, Shapiro^[7]提出的嵌入式零树小波编码算法则是其中之一, 许多小波图像压缩的改进算法^[8-9]的思想都来源于它. 通过对传统 EZW 算法及其改进算法的分析, 发现其辅扫描结构本身仍然存在的问题. 传统 EZW 算法的辅扫描采用逐层构造量化器的方法对辅扫描表中的数据量化编码, 随着分解层

数的增加, 量化器的构造也越来越复杂, 从而使辅扫描量化编码过程需要大量的逻辑判断, 其量化区间的个数随着扫描层数 k 的增加呈指数增长 $(2^k - 1)$. 可见, 传统 EZW 算法的辅扫描量化器的构造复杂, 实现困难. 研究发现, 只需要简单的直接输出辅扫描表中数据相应的二进制位就可以得到辅扫描输出编码, 从而提高编码的效率. 据此, 本文提出了位渐进逼近量化的 EZW 改进算法来简化 EZW 算法辅扫描编码, 减少编码时间.

1 嵌入式零树小波编码算法

1.1 嵌入式零树小波编码概述

EZW 编码方法将小波系数分为 4 类: 零树根 (T , 编码成 00), 孤立零点 (Z , 编码成 01), 负重要

收稿日期: 2009-03-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60875013, 60475011).

作者简介: 陈 冬(1976—), 男, 博士, 讲师;

张田文(1940—), 男, 教授, 博士生导师.

系数(N , 编码成 10), 正重要系数(P , 编码成 11). 在设定一个阈值 T 后, 开始对系数进行主扫描编码, 采用 Raster 扫描方案 (如图 1 所示), 扫描先从最低频的 LL_J 开始, 然后按 HL_J, LH_J, HH_J 顺序扫描, 再转向下一层子带, 形成一张含有以上 4 类元素的主扫描表. 然后将重要系数从主扫描表移至辅扫描表, 进行辅扫描量化编码. 再将阈值减半, 对尚未判定为重要的系数重复上述扫描编码过程, 根据比特率等条件可随时终止编码.

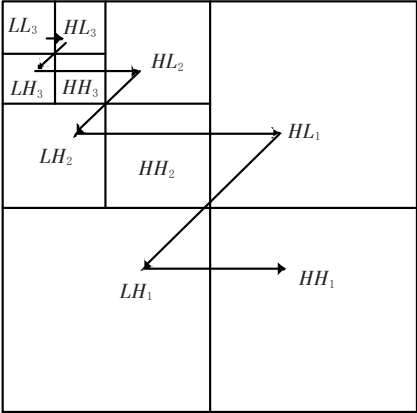


图 1 EZW 编码主扫描图

1.2 EZW 算法的编码流程

1.2.1 初始化

设 T_0 为初始阈值, 辅扫描表为空. $T_0 = 2^n$, $n = \lfloor \log_2(\max_{(i,j)} \{ |c_{i,j}| \}) \rfloor$, 其中, $\lfloor x \rfloor$ 为不大于 x 的最大整数.

1.2.2 主扫描过程

按照图 1 的扫描顺序对图像矩阵扫描 (该层扫描的阈值是 T).

1) 如果是重要系数.

① 如果是正重要系数, 则输出符号 P ; 如果是

- 负重要系数, 则输出符号 N ;
- ② 将重要系数的绝对值写入辅扫描表;
- ③ 将重要系数对应位置的图像矩阵系数的数值置零.
- 2) 如果是孤立零点, 则输出符号 Z .
- 3) 如果是零树根, 则输出符号 T , 且其所有的子系数不参与该阈值下的扫描编码.

1.2.3 辅扫描过程

需要构造量化器, 然后根据量化器来量化输出, 图 2 为辅扫描量化输出示意图.

假设初始阈值 $T = T_0$, 那么初次扫描的量化区间只有一个即 $[T_0, 2.00T_0)$, 其量化输出如图 2(a) 所示, 当数值处于区间 $[T_0, 1.50T_0)$ 时, 量化编码输出 0, 解码值为区间中点值 $1.25T_0$; 当数值处于区间 $[1.50T_0, 2.00T_0)$ 时, 量化编码输出 1, 解码值为区间中点值 $1.75T_0$. 而第二次扫描因为阈值变为阈值 $T = 0.50T_0$, 所以其量化区间有 3 个, 分别为 $[0.50T_0, T_0)$, $[T_0, 1.50T_0)$ 和 $[1.50T_0, 2.00T_0)$, 其输出如图 2(b) 所示. 依次类推, 第 k 次扫描的量化区间有 $2^k - 1$ 个, 量化输出的方式依此类推.

1.2.4 更新量化

重新设置阈值 $T = 0.50T$, 转至主扫描过程.

1.3 传统 EZW 辅扫描编码解码描述

传统 EZW 算法的辅扫描采用逐层构造量化器的方法对辅扫描表中的数据量化编码, 随着分解层数的增加, 量化器的构造也越来越复杂, 从而使辅扫描量化编码需要大量的逻辑判断 (如图 2 所示). 而且, 其量化区间的个数随着扫描层数 k 呈指数增长 ($2^k - 1$). 可见, 传统 EZW 编码辅扫描量化编码器的构造复杂, 实现困难.

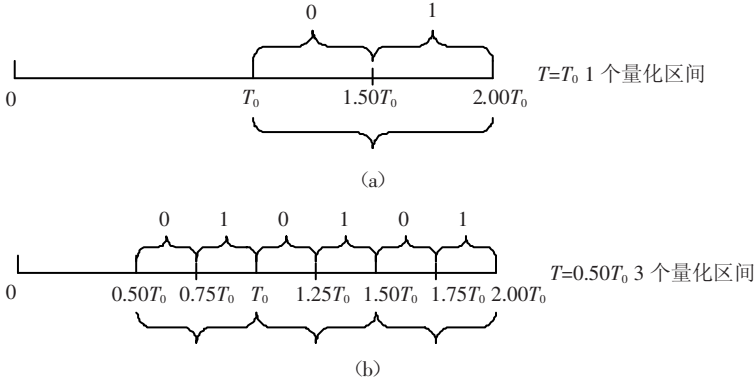


图 2 辅扫描量化输出示意图

如图 3 所示, 当阈值为 $T = T_1$ 时, 重要系数区间 $[T_1, 2.00T_1)$ 的 4 个系数 $x_{00}, x_{01}, x_{10}, x_{11}$ 分别位于区间 $[T_1, 1.25T_1)$, $[1.25T_1, 1.50T_1)$,

$[1.50T_1, 1.75T_1)$ 和 $[1.75T_1, 2.00T_1)$, 由 EZW 的编码规则可知这 4 个系数的量化输出值和解码量化值如表 1 所示.

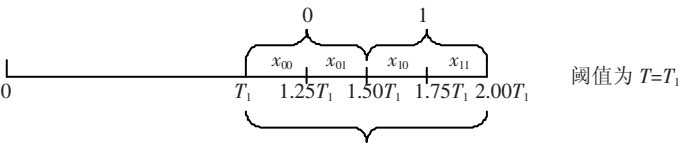


图3 阈值为 $T = T_1$ 时重要系数输出编码

表1 阈值为 $T = T_1$ 时重要系数量化输出与解码值

系数	所在区间	量化输出值	解码量化值	解码量化值计算
x_{00}	$T_1 \leq x_{00} < 1.25T_1$	0	$1.25T_1$	$x'_{00} = 1.50T - 0.25T$
x_{01}	$1.25T_1 \leq x_{01} < 1.50T_1$	0	$1.25T_1$	$x'_{01} = 1.50T - 0.25T$
x_{10}	$1.50T_1 \leq x_{10} < 1.75T_1$	1	$1.75T_1$	$x'_{10} = 1.50T + 0.25T$
x_{11}	$1.75T_1 \leq x_{11} < 2.00T_1$	1	$1.75T_1$	$x'_{11} = 1.50T + 0.25T$

如图4所示,当阈值为 $0.50T_1$ 时,重要系数区间 $[T_1, 2.00T_1)$ 分成2个量化区间 $[T_1, 1.50T_1)$ 和 $[1.50T_1, 2.00T_1)$,4个系数 $x_{00}, x_{01}, x_{10}, x_{11}$ 的量化输出值和解码量化值如表2所示.

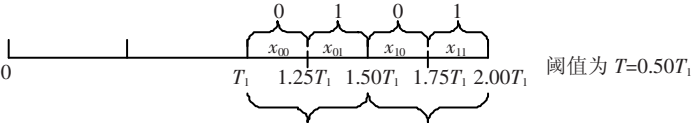


图4 阈值为 $T = 0.5T_1$ 时重要系数的输出编码

表2 阈值为 $T = 0.5T_1$ 时重要系数量化输出与解码值

系数	所在区间	量化输出值	解码量化值	解码量化值计算
x_{00}	$T_1 \leq x_{00} < 1.25T_1$	0	$1.125T_1$	$x''_{00} = x'_{00} - 0.25T$
x_{01}	$1.25T_1 \leq x_{01} < 1.50T_1$	1	$1.375T_1$	$x''_{01} = x'_{01} + 0.25T$
x_{10}	$1.50T_1 \leq x_{10} < 1.75T_1$	0	$1.625T_1$	$x''_{10} = x'_{10} - 0.25T$
x_{11}	$1.75T_1 \leq x_{11} < 2.00T_1$	1	$1.875T_1$	$x''_{11} = x'_{11} + 0.25T$

2 位渐进逼近量化的 EZW 改进算法

传统 EZW 编码的辅扫描过程在每一层扫描都要构造新的量化器,这不仅增加了逻辑上的复杂性,而且实现起来也比较麻烦. 对传统 EZW 辅扫描编码解码的描述进行分析发现:只要每次扫描都对辅扫描表中的重要系数做区间转换处理,就可以用一个通用的量化器来处理每一层辅扫描的数据输出,则称其为区间逐次缩减逼近量化的辅扫描编码解码方案.

2.1 区间逐次缩减逼近量化的辅扫描编码方案

表3 阈值为 $T = 0.50T_1$ 时重要系数区间转化与量化输出

系数	所在区间	量化输出值	转化方法	转化后的区间
x_{00}	$T_1 \leq x_{00} < 1.25T_1$	0	$\tilde{x}_{00} = x_{00} - 0.50T_1$	$T \leq \tilde{x}_{00} < 1.50T$
x_{01}	$1.25T_1 \leq x_{01} < 1.50T_1$	1	$\tilde{x}_{01} = x_{01} - 0.50T_1$	$1.50T \leq \tilde{x}_{01} < 2.00T$
x_{10}	$1.50T_1 \leq x_{10} < 1.75T_1$	0	$\tilde{x}_{10} = x_{10} - T_1$	$T \leq \tilde{x}_{10} < 1.50T$
x_{11}	$1.75T_1 \leq x_{11} < 2.00T_1$	1	$\tilde{x}_{11} = x_{11} - T_1$	$1.50T \leq \tilde{x}_{11} < 2.00T$

如表3所示,得到“量化输出值”和“转化后的区间”之间的对应关系可以只用一个量化器来

参考图3、图4、表1、表2,考虑在阈值为 $T = 0.50T_1$ 时,把区间 $[T_1, 2.00T_1)$ 的系数 x 转化到区间 $[0.50T_1, T_1)$,进而在此基础上构造对每一层扫描都通用的辅扫描量化编码器. 转化的方法为:

1) 如果 $T_1 \leq x < 1.50T_1$,则 $\tilde{x} = x - 0.50T_1$,从而得到新的值 $\tilde{x}(0.50T_1 \leq \tilde{x} < T_1)$.

2) 如果 $1.50T_1 \leq x < 2.00T_1$,则 $\tilde{x} = x - T_1$,从而得到新的值 $\tilde{x}(0.50T_1 \leq \tilde{x} < T_1)$.

按照上述方法,转化4个系数 $x_{00}, x_{01}, x_{10}, x_{11}$,如表3所示.

表示($T = 0.50T_1$). 可见,无论是 $T = T_1$ 还是 $T = 0.50T_1$ 都可以用一个阈值 T 来表示的通用的量化

器来量化编码(如图 5),只需在量化编码后把系数转化到下层区间.

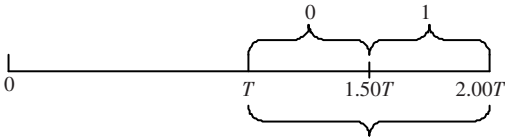


图 5 区间逐次缩减逼近量化的量化过程示意图

区间逐次缩减逼近量化的辅扫描编码方案通过对数据量化处理后再将其转化到下层量化区间的方法来达到“用一个通用的量化器来处理每一层辅扫描的数据输出”这一目的,使用该方法,EZW 辅扫描编码过程改写为:

1) 设当前扫描的阈值是 T ,如果辅扫描表中的数据 x 位于区间 $[1.50T,2.00T)$,则输出 1;且把 x 转化到区间 $[0.50T,T)$,以便下层辅扫描时处理; $x = x - 0.50T$.

2) 设当前扫描的阈值是 T ,如果辅扫描表中的数据 x 位于区间 $[T,1.50T)$,则输出 0;且把 x 转化到区间 $[0.50T,T)$,以便下层辅扫描时处理; $x = x - 0.50T$.

从上述区间逐次缩减逼近量化的辅扫描编码流程可知,每次辅扫描的量化区间都是 $[T,2.00T)$,在区间 $[T,1.50T)$ 之间的值输出为 0,在区间 $[1.50T,2.00T)$ 之间的值输出为 1(如图 5 所示).这种统一的量化器构造(注意:每次扫描阈值 T 是不同的,用符号 T 使各层辅扫描的量化器都具有相同的表示)使 EZW 辅扫描编码简单清晰.

2.2 区间逐次缩减逼近量化的辅扫描解码方案

参考表 1 和表 2,可以得到区间逐次缩减逼近量化的解码过程如图 6 所示(设 T 为当前解码阈值).

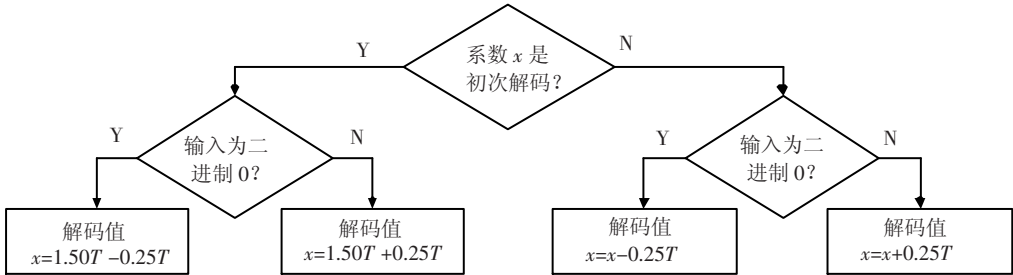


图 6 区间逐次缩减逼近量化的解码示意图

2.3 重要系数二进制表示与量化编码器的关系

区间逐次缩减逼近量化方案大大简化了 EZW 的辅扫描编码过程,但它需要转换辅扫描表中数据的数值到下一层扫描区间,以使其适应下一次扫描采用相同量化器的需要,这会增加运算.为了克服这个问题,本文在区间逐次缩减逼近量化辅扫描编码方案的基础上,在不转化辅扫描表中数据的前提下完成辅扫描的量化编码过程.

如图 7 所示,假设本次辅扫描的阈值 $T = 32 = 2^n = 2^5$,也就是说当前扫描阈值 $T = 32$ 时,第 n 个最重要的位是第 $n = 5$ 位.从图 7 中可以看出,当 $T = 32$ 时,重要系数位于区间 $[32,64)$ 之内,那么其二进制表示的 $32 = 2^5$ 处一定是 1,而重要系数所处的半区间是 $[32,48)$ 还是 $[48,64)$ 则取决于“第 $n = 5$ 个最重要的位”,也就是其二进制表示的 $16 = 2^4$ 处的二进制值,如果其值是 1,则重要系数所处区间是 $[48,64)$;如果其值是 0,则重要系数所处区间是 $[32,48)$.可见,“二进制表示中第 n 个最重要的位”的数值也就是采用“位

渐进逼近量化”的辅扫描方法时对辅表中每个数据处理后的量化输出值.

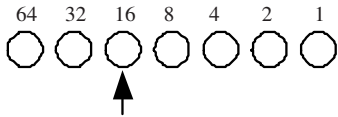


图 7 位渐进逼近量化方法的量化过程示意图

2.4 位渐进逼近量化的 EZW 改进算法描述

由重要系数二进制表示与量化编码器的关系可得,位渐进逼近量化的 EZW 改进算法的辅扫描过程为:对辅扫描表中每个数据 x ,输出 x 的二进制表示中第 n 个最重要的位,其中 $T = 2^n$ 是本次扫描过程中设定的阈值.

3 结果和分析

位渐进逼近量化的 EZW 改进算法是对 EZW 编码辅扫描部分的简化,并没有改变辅扫描的输出编码值,也不改变图像压缩的峰值信噪比(PSNR),所以实验只需通过比较编码时间来测试编码速度.分别用原始 EZW 算法和位渐进逼近

量化的 EZW 改进算法对 $512 \times 512 \times 8$ 的标准 Lena 图像进行压缩实验. 实验采用 JPEG2000 推荐的有损压缩小波滤波器组对图像进行 6 层分解.

表 4 给出了不同比特率下两种算法编码时间的数值比较. 其中“原始 EZW 编码时间”和“本文算法编码时间”的获得方法为: 每一个比特率下分别做 30 组实验, 然后去掉最大和最小的两个值, 再对剩余的 28 个值取平均.

表 4 本文改进算法与原始 EZW 算法时间比较			
比特率	原始 EZW 编码时间/ms	本文算法 编码时间/ms	节省 时间/ms
0.062 5	682	578	104
0.125 0	831	672	159
0.250 0	1 008	812	196
0.500 0	1 283	1 047	236
1.000 0	1 755	1 453	302
2.000 0	2 688	2 234	454

从表 4 可以看出, 本文提出的位渐进逼近量化的 EZW 改进算法与传统的 EZW 算法相比, 随着编码比特率的增加, 节省的时间也显著增加, 平均大约减少 20% 的编码时间. 本文改进算法节省时间的本质原因是位渐进逼近量化的 EZW 改进算法实现简单, 只需要对数据进行位操作即可实现编码, 所以编码速度较快.

4 结 论

- 1) 位渐进逼近量化的 EZW 改进算法舍弃了传统 EZW 编码中繁琐的量化器构造过程.
- 2) 利用辅扫描表中数据数值的二进制表示的特点来实现辅扫描的量化编码, 量化编码过程非常简洁, 且能够有效地减少编码时间.
- 4) 位渐进逼近量化的 EZW 改进算法是针对辅扫描编码部分的, 它可以与任何 EZW 编码主扫描的算法(例如文献[10]提出的扩充编码符号的 EZW 改进算法、文献[11]中提出的基于形态运算的改进 EZW 编码算法等)结合来提高算法的编

码效率.

参考文献:

[1] MALLAT S. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation [J]. IEEE Transaction on PAMI, 1989, 11(7): 674 – 693.

[2] VETTERLI M, HERLEY C. Wavelets and filter banks: Theory and design [J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 1992, 40(9): 2207 – 2232.

[3] SWELDENS W. The lifting scheme: A construction of second generation wavelets [J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1998, 29(2): 511 – 546.

[4] DAUBECHIES I, SWELDENS W. Factoring wavelet transforms into lifting steps [J]. The Journal of Fourier Analysis and Applications, 1998, 4(3): 245 – 267.

[5] CHRISTOPOULOS C, SKODRAS A, EBRAHIMI T. The JPEG2000 still image coding system: An overview [J]. IEEE Transaction on Consumer Electronics, 2000, 46(4): 1103 – 1127.

[6] 刘洁瑜, 张德运. 基于人眼感知预测的 JPEG2000 码率控制算法 [J]. 电子与信息学报, 2008, 30(5): 1198 – 1202.

[7] SHAPIRO J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445 – 3462.

[8] TOHUMOGLU G, SEZGIN K E. ECG signal compression by multi-iteration EZW coding for different wavelets and thresholds [J]. Computers in Biology and Medicine, 2007, 37(2): 173 – 182.

[9] 马文波, 赵保军, 毛二可. 基于图像先验知识的快速 EZW 算法研究 [J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 485 – 489.

[10] 陈冬, 张田文, 李东. 扩充编码符号的 EZW 改进算法 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(8): 89 – 93.

[11] 丁绪星, 朱日宏, 李建欣. 基于整数小波变换和改进嵌入零树编码的图像压缩 [J]. 电子与信息学报, 2004, 26(7): 1064 – 1069.

(编辑 张 红)